



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE SOLOS E ENGENHARIA RURAL

**ESTIMATIVA DO K_c , COM DADOS DE NDVI: AVALIAÇÃO DE EQUAÇÕES EM
CULTIVO DE MELOEIRO IRRIGADO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

ANTONIO GONÇALVES DE LIMA JÚNIOR

AREIA-PB

2018



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE SOLOS E ENGENHARIA RURAL

**ESTIMATIVA DO K_c , COM DADOS DE NDVI: AVALIAÇÃO DE EQUAÇÕES EM
CULTIVO DE MELOEIRO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

Antonio Gonçalves de Lima Júnior

Autor

Prof. *Dr^a*. Valéria Peixoto Borges

Orientadora

Areia-PB

2018

ANTONIO GONÇALVES DE LIMA JUNIOR

**ESTIMATIVA DO K_c , COM DADOS DE NDVI: AVALIAÇÃO DE EQUAÇÕES EM
CULTIVO DE MELOEIRO IRRIGADO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

Trabalho de Graduação apresentado à
Coordenação do Curso de Agronomia da
Universidade Federal da Paraíba Centro de
Ciências Agrárias, em cumprimentos as
exigências para a obtenção do título de
Engenheiro Agrônomo.

ORIENTADORA: Prof. Dr^a. Valéria Peixoto Borges

AREIA – PB

2018

AGRADECIMENTOS

Primeiramente eu quero agradecer a Deus por toda a proteção e milagres realizados na minha vida mesmo sem merece-los. Agradecer aos meus pais, Antônio Gonçalves de Lima e Dulcinéia Norberto Targino de Lima por todo o amor, cuidado, atenção, apoio, dedicação, educação realizados durante toda a minha existência, ensinando-me o caminho certo a seguir e moldando o meu caráter através de palavras e ações. Agradecer aos poucos mais fiéis amigos, conseguidos ao longo da minha trajetória como ser humano, importantíssimo em momentos bons e principalmente nos momentos difíceis que realmente descobrimos as verdadeiras amizades. Também quero agradecer a alguns professores que através das suas experiências e carinho, proporcionou-me um crescimento tanto profissional quanto pessoal, sendo eles: o professor Mario (fisiologia vegetal), professor Mailson (Genética) e a professora Vânia (Química e Fertilidade dos Solos).

E finalmente eu queria agradecer a minha orientadora, a professora Valéria Peixoto Borges. Eu tinha traçado um plano para o meu TCC, porem ao conhecê-la eles mudaram totalmente. Professora, eu não tinha grandes expectativas com relação a disciplina de SIG e Sensoriamento Remoto, para mim era apenas mais uma disciplina dentre tantas obrigatórias no curso de Agronomia, porém com o passar do tempo eu acabei me apaixonado pela área e você tem uma grande parcela de culpa nisso. A dedicação, o cuidado, a atenção e o entusiasmo que você demonstrava na ministração das aulas aos poucos iam me contagiando e a vontade de saber mais sobre as possibilidades que o sensoriamento remoto nos permite, aumentava cada dia mais. Mudar os meus planos foi uma difícil decisão mas hoje eu afirmo sem nenhuma dúvida que foi uma das melhores escolhas da minha vida. Foi um privilégio para mim poder conviver com você nesses últimos meses não apenas pela excelente profissional que todos nós sabermos e admiramos mas também pela pessoa doce e gentil. Para finalizar saiba que foi uma grande honra e um enorme prazer ser o seu orientado e não se preocupe, eu irei incomodá-la ainda por mais algum tempo. Desejo o melhor para você e obrigado por tudo.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVOS	15
2.1 Geral	15
2.2 Específico	15
3. REVISÃO DE LITERATURA	16
3.1 Sensoriamento remoto no estudo da vegetação	16
3.2 Satélite Landsat 5 sensor TM	17
3.3 Índice de Vegetação pela Diferença Normalizada	18
3.4 Coeficiente basal de cultivo derivado dos valores de NDVI	20
3.5 A cultura do meloeiro	21
4. MATERIAL E MÉTODOS	24
4.1 Localização e caracterização da área de estudo	24
4.2 Imagens de satélite	24
4.3 Determinação do NDVI e do coeficiente basal de cultivo	25
4.4 Experimento de campo para validação e análise das estimativas	26
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
5.1 Dados de NDVI obtidos durante o ciclo de cultivo do meloeiro	27
5.2 Avaliação da eficiência dos modelos Kc_b -NDVI na determinação dos coeficientes basais de cultivo em cada estágio fenológico da cultura	28
5.3 Comparação dos valores estimados de ETc_b através dos modelos espectrais e BERB.....	33
6. CONCLUSÃO	36
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37

Listas de Figuras

Figura 1: Localização da área experimental sobre cultivo do meloeiro no município de Mossoró –RN	24
Figura 2: Mapas de NDVI da área experimental no município de Mossoró-RN indicada pela seta, correspondente as datas: 01/09/2009, 17/09/2009 e 03/10/2009	28
Figura 3. Mapas de Kc_b obtidos através dos modelos Kc_b -NDVI, na respectiva data: 01/09/2009. Kc_{b1} : Dercas et al., 2017; Kc_{b2} : Swant et al., 2016; Kc_{b3} : Johnson e Trount 2012 ; Kc_{b4} : : Er Raki et al., 2007.....	29
Figura 4. Mapas de Kc_b obtidos através dos modelos Kc_b -NDVI, na respectiva data: 17/09//2009. Kc_{b1} : Dercas et al., 2017; Kc_{b2} : Swant et al., 2016; Kc_{b3} : Johnson e Trount 2012 ; Kc_{b4} : : Er Raki et al., 2007.....	29
Figura 5. Mapas de Kc_b obtidos através dos modelos Kc_b -NDVI, na respectiva data: 03/10/2009. Kc_{b1} : Dercas et al., 2017; Kc_{b2} : Swant et al., 2016; Kc_{b3} : Johnson e Trount 2012 ; Kc_{b4} : : Er Raki et al., 2007.....	30
Figura 6. Curva do Kcb e evolução dos valores medidos pelo método BERB e estimados pelos modelos. DAS: dias após semeadura; Kc_{b1} : Dercas et al., 2017; Kc_{b2} : Swant et al., 2016; Kc_{b3} : Johnson e Trount 2012 ; Kc_{b4} : : Er Raki et al., 2007; $Kc_{b\text{ BERB}}$: Kcb obtido pelo método do balanço de energia pela razão de Bowen.....	33

Listas de Tabelas

Tabela 1: Duração dos estádios fenológicos da cultura do melão e data dos eventos que marcam cada estágio (Mossoró, RN). DAS: dias após semeadura (BORGES et al., 2015).....	25
Tabela 2: Equações para a determinação do coeficiente basal de cultivo (Kc_b), à partir dos valores de NDVI.....	26
Tabela 3: Valores mínimos, médios e máximos de NDVI obtidos na área experimental através das imagens geradas pelo satélite Landsat 5 TM nas datas correspondentes aos estádios fenológicos do meloeiro.....	28
Tabela 4: Valores estimados de Kc_b a partir dos métodos BERB, FAO-56 e dos modelos espectrais Kc_b -NDVI listados na tabela 2 (Borges et al.; 2015).....	30
Tabela 5: Valores diários de evapotranspiração do meloeiro obtidos através das equações listadas na tabela 2 e pelo método BERB.....	33
Tabela 6: Valores de ET acumulados (mm) durante cada estágio fenológico do meloeiro a partir dos modelos Kc_b - NDVI e estimada em campo através do balanço de energia pela razão de Bowen (Borges et al.; 2015).....	34

LISTA DE ABREVIACÕES

ANA – Agência Nacional das Águas

BERB – Balanço de Energia pela Razão de Bowen

DAS – Dias após a semeadura

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

ET_c – Evapotranspiração da cultura

ET_{c_b} – Evapotranspiração basal da cultura

ET_r – Evapotranspiração real

FAO – Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura

F_c – Fração da cobertura do solo

GVI – Green Vegetation Index

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas

K_c – coeficiente de cultivo

K_{c_b} – coeficiente basal de cultivo

MAPA – Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento

MDIC – Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços

NASA – National Aeronautics and Space Administration

TNT – Tecido não Tecido

USGS – United States Geological Survey

RESUMO

Atualmente um dos maiores desafios que a agricultura enfrenta é proporcionar o aumento da produtividade aliada a preservação e o manejo eficiente dos recursos hídricos escassos disponíveis. A elevação no consumo de água observado nas últimas décadas, devido ao aumento da população mundial, impõe a implementação de ações que visam o uso eficiente da água, principalmente em áreas sobre cultivos agrícolas. O cultivo do meloeiro no semiárido brasileiro é realizado através da utilização de coberturas plásticas nas leiras e manta de polipropileno visando a redução do ataque de insetos e uma maior qualidade da fruta para a exportação, portanto a perda de água para o meio ocorre exclusivamente pelo processo da transpiração. O uso das técnicas de sensoriamento remoto permite o planejamento da irrigação através da obtenção e processamento de imagens geradas por satélites para a determinação do coeficiente basal de cultivo que representa o consumo de água pela cultura oriunda da transpiração. No presente trabalho, objetivou-se avaliar equações para a determinação do coeficiente basal de cultivo, utilizando dados de NDVI para o meloeiro irrigado no semiárido brasileiro. A área de estudo está localizada em uma propriedade agrícola no município de Mossoró – RN (4°59'52" S, 37°23'09" W, 54 m de altitude). Foram obtidas e posteriormente processadas três imagens geradas pelo satélite Landsat 5 TM livres de nuvens da órbita 216 e ponto 63 nas seguintes datas: 01/09/2009, 17/09/2009 e 03/10/2009. Essas imagens foram utilizadas para o cálculo do Índice de Vegetação pela Diferença Normalizada (NDVI) e determinação do coeficiente basal de cultivo para cada equação analisada no estudo. Utilizou-se o método do Balanço de Energia pela Razão de Bowen para a validação das equações e obteve-se a evapotranspiração de referência através da equação de Penman-Monteith. Os maiores valores de NDVI e K_c foram encontrados no último estágio fenológico do meloeiro, caracterizando a fase de máximo desenvolvimento vegetativo da cultura. As equações avaliadas subestimaram a evapotranspiração basal do meloeiro em 4,2%, 5,2%, 7,5% e uma delas superestimou-se em 9,7% respectivamente, comprovando a eficiência e generalidade do uso de modelos espectrais para a determinação das necessidades hídricas da espécie em questão.

Palavras chaves: sensoriamento remoto, coeficiente basal de cultivo, NDVI, *Cucumis melo* (L) , semiárido

ABSTRACT

One of the greatest challenges facing agriculture today is to provide increased productivity coupled with the preservation and efficient management of the scarce water resources available. The increase in water consumption observed in the last decades, due to the increase of the world population, imposes the implementation of actions that aim at the efficient use of water, mainly in areas on agricultural crops. Melon cropping in the Brazilian semi-arid region is accomplished through the use of plastic coverings in the litter and polypropylene blanket aiming to reduce the insect attack and a higher quality of the fruit for export, so the loss of water to the environment occurs by transpiration. The use of remote sensing techniques allows the planning of irrigation by obtaining and processing images generated by satellites to determine the basal coefficient of cultivation that represents the water consumption by the culture derived from the sweating. In the present work, the objective was to evaluate equations for the determination of the basal coefficient of cultivation, using NDVI data for the irrigated melon in the Brazilian semi-arid region. Three cloud free images (09/01/2009, 09/17/2009 and 10/03/2009) generated by the Landsat 5 TM satellite, orbit 216 and point 63, were obtained and processed. These images were used to calculate the Normilized Diference Vegetation Index (NDVI) and determine the basal crop coefficient for each equation analyzed in the study. The Bowen ratio - energy balance method was used to validate the equations and the Penman-Monteith equation provided the reference evapotranspiration. The highest values of NDVI and Kcb were found in the last phenological stage of the melon, characterizing the phase of maximum vegetative development of the crop. The evaluated equations underestimated the basal evapotranspiration of melon at 4.16%, 5.2%, 7.5% and one of them was overestimated at 9.69%, respectively, proving the efficiency and generality of the use of spectral models for determination of the water needs of the species in question.

Key word: remote sensing, basal crop coefficient, NDVI, *Cucumis melo* (L), semiarid

1. Introdução

Atualmente um dos grandes desafios que a agricultura enfrenta é proporcionar o aumento da produtividade, aliada a preservação e o manejo eficiente dos recursos hídricos escassos disponíveis. De acordo com a Agência Nacional das Águas (ANA, 2018), estima-se que 97,5 % da água existente no mundo é salgada e não é adequada ao consumo direto e nem a irrigação. Dos 2,5 % de água doce, a maioria (69%) é de difícil acesso, pois estar concentrada nas geleiras, 30 % são águas subterrâneas (armazenadas em aquíferos) e 1 % encontra-se nos rios. O aumento significativo da população mundial observado nas últimas décadas, acarreta numa crescente competição pelo uso da água nos setores industrial, agrícola e domiciliar, provocando uma escassez de água que afeta mais de 40 % da população mundial, uma porcentagem que alcançará os 2/3 em 2050 (FAO, 2015). Em termos globais, o Brasil possui cerca de 12% da água doce disponível do planeta, 80 % desta concentrada na região Norte (ANA, 2018). Estudos demonstram que cerca de 80 % do suprimento adicional de alimentos necessários para atender a demanda crescente terá que ser produzido em terras irrigadas (MAPA, 2017).

A agricultura irrigada no Brasil é a atividade que mais utiliza água, sendo responsável por 46% das retiradas nos corpos hídricos e por 67 % do consumo (água que não retorna diretamente). A área irrigada correspondia a cerca de 6,95 milhões de hectares em 2015 e a perspectiva é que até 2030 possa atingir a marca de 10,09 milhões de hectares (ANA, 2018).

A cultura do melão (*Cucumis melo* L.) é uma das frutas frescas mais exportadas pelo Brasil (MDIC, 2018), sendo cultivado em uma área correspondente a 23.166 ha, representando 1,8 % da produção total de frutas no país (IBGE, 2016). O estado do Rio Grande do Norte se destaca com uma participação estimada em 66,4 % das exportações (MDIC, 2017), devido as práticas culturais implementadas nas áreas de cultivo como: uso de cobertura plástica nas leiras e manta de polietileno visando a redução do ataque de insetos, além da disponibilidade de água para a irrigação através da perfuração de poços. Em contrapartida o regime pluviométrico irregular característico da região e a qualidade da água extraída do subsolo, configura-se como uma das principais dificuldades enfrentadas pelos agricultores (Anuário 2017-2018, 2018).

Diante desse panorama, o gerenciamento adequado dos recursos hídricos torna-se imprescindível para possibilitar a manutenção do suplemento de água para a cultura do meloeiro através da irrigação. Políticas públicas devem ser desenvolvidas pelos órgãos municipais,

estaduais e federais, visando a preservação da quantidade e qualidade da água disponível, além de uma maior conscientização por parte dos agricultores em relação à quantidade de água adequada a ser utilizada na sua área de cultivo. Essa quantificação é realizada através da determinação da evapotranspiração da cultura (ET), que representa a sua demanda hídrica, determinada pelas condições climáticas e pelos aspectos intrínsecos do cultivo como: a espécie, variedade, estágio de desenvolvimento, aspectos do ambiente e manejo da cultura (Borges et al., 2015).

Uma abordagem comum para o planejamento da irrigação é calcular a ET_c , pelo produto entre o coeficiente de cultivo (K_c), que é um valor adimensional geralmente no intervalo de 0,1 a 1,2 e a evapotranspiração de referência (ET_0) que captura o efeito do clima sobre o poder evaporativo da atmosfera (Johnson e Trout, 2012). O K_c é a razão entre a evapotranspiração da cultura e a evapotranspiração de referência, sendo constituído por dois componentes, K_{cb} e K_e . O K_{cb} (coeficiente basal de cultivo) representa o processo fisiológico da transpiração realizada pela cultura, enquanto que o K_e (coeficiente de evaporação) representa o fenômeno da evaporação que ocorre na superfície do solo.

A estimativa precisa da necessidade real de água para a irrigação em grandes áreas ainda é uma preocupação primordial para a agricultura. O uso de medições diretas e indiretas por exemplo, lisímetro de pesagem, covariância de vórtices turbulentos e balanço de energia pela razão de Bowen, mostrou ser válido para a avaliação da evapotranspiração da cultura em escalas de campo, mas a implementação dessas técnicas para aplicações operacionais é restrita pela instalação e manutenção de equipamentos no campo, além de uma representação espacial limitada (Campos et al., 2017). Para superar essa limitação dos métodos *in situ* de determinação da ET, várias pesquisas vêm utilizando técnicas de sensoriamento remoto que permitem o monitoramento da variabilidade espacial da precipitação, das características do solo e da cobertura vegetal, fornecendo dados observados da radiação emitida e refletida por qualquer superfície (Mutti, 2018).

O uso do sensoriamento remoto consiste na aquisição de registros de informações referentes às regiões do espectro eletromagnético correspondente ao visível, infravermelho e as micro-ondas, sem que haja contato com o alvo, através do uso de instrumentos como câmeras, scanners, lasers, dispositivos lineares e/ou matriciais localizados em plataformas como aeronaves ou satélites e análise da informação adquirida é realizada através do processamento de imagem visual ou digital (Jensen, 2011).

Os parâmetros biofísicos ligados à transpiração da cultura como, índice de área foliar (IAF), fração da radiação fotossinteticamente ativa absorvida (FAPAR), fração da cobertura do solo (F_c), produção primária e coeficiente basal de cultivo podem ser derivados a partir de vários índices de vegetação (Rocha et al., 2010). O índice de vegetação pela diferença normalizada - NDVI (sigla em inglês) é o mais comumente utilizado para a determinação do K_{cb} e consiste na utilização dos valores de reflectâncias das faixas espectrais correspondente ao vermelho e infravermelho próximo.

Portanto o uso de equações empíricas à partir de dados de NDVI demonstra ser uma alternativa viável para a determinação do coeficiente de cultivo uma vez que os métodos *in situ* apresentam limitações em relação à instalação, manutenção e aquisição dos equipamentos (Toureiro et al., 2017).

As equações utilizadas neste presente trabalho, foram escolhidas devido a análise do modelo K_{cb} - NDVI em culturas que apresentam características semelhantes ao meloeiro como o ciclo de cultivo e porte (algodão e alface), utilização da variável $NDVI_{min}$ que permite a identificação de áreas com solo exposto e avaliação do desempenho dessas equações no meloeiro, que é cultivado em condições específicas no semiárido brasileiro.

2. OBJETIVOS

2.1 Geral

Avaliar equações para a determinação do coeficiente basal de cultivo, utilizando dados de NDVI para o meloeiro irrigado no semiárido brasileiro.

2.2 Específicos

- Monitorar a dinâmica da cobertura vegetal ao longo do ciclo de cultivo a partir do NDVI e comparar com dados de campo;
- Verificar se os modelos representam bem a demanda hídrica da cultura nos diferentes estádios fenológicos;
- Identificar a equação mais adequada para a cultura nas condições de cultivo da região.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Sensoriamento remoto no estudo da vegetação

O uso de técnicas de sensoriamento remoto para o estudo dos diversos tipos fisionômicos da vegetação (florestas, campos, pastagens ou uma cultura agrícola), proporcionam inúmeras aplicações voltadas para diferentes áreas do conhecimento abrangidas pelas Ciências Agrárias, como demonstram os seguintes trabalhos: Teixeira et al. (2018), realizaram um sequenciamento multitemporal de imagens do Índice de Vegetação pela Diferença Normalizada, com o intuito de verificar os vários níveis de degradação da vegetação na região do Alto Médio São Francisco- MG no intervalo de tempo de 40 anos; Manabe (2018), utilizou-se series temporais de índice de vegetação EVI (Enhanced Vegetation Index) para o mapeamento dos diferentes manejos de pastagens, no ano safra 2015/2016, em três fazendas nas regiões de Oeste de São Paulo, Norte do Mato Grosso e Sudeste do Pará; Sales et al. (2017), utilizaram imagens do satélite Landsat 8 (OLI/TIRS) e o algoritmo SAFER, para a estimativa da evapotranspiração atual (ET_a) e os coeficientes de cultura (K_c) de dois híbridos de tomateiro industrial, apresentando uma significativa correlação com os métodos FAO-56 e EMBRAPA, demonstrando a eficiência no uso de imagens de satélite para a quantificação da ET_a e K_c do tomateiro industrial na região.

Portanto, o sensoriamento remoto da vegetação consiste no monitoramento espaço-temporal de uma área vegetada, a partir da utilização de sensores multiespectrais acoplados em satélites ou aeronaves, que captam a radiação eletromagnética emitida ou refletida pelo alvo, e posteriormente é realizado o processamento das imagens e geração de produtos que contém informações sobre o alvo (MOREIRA, 2007). O sucesso no uso do sensoriamento remoto deve-se ao entendimento sobre a interação da radiação eletromagnética com a vegetação, principalmente em relação as folhas, pois são esses órgãos vegetativos os responsáveis tanto pela absorção de parte dessa radiação no comprimento de onda correspondente ao visível (400 a 700 nm), quanto pela reflexão no comprimento de onda referente ao infravermelho próximo (700 a 1300 nm).

A radiação solar, ao atingir a planta, parte dela (cerca de aproximadamente 50 %) é absorvida pelos pigmentos fotossintetizantes, outra parte é refletida num fenômeno conhecido como reflexão e uma terceira parte é transmitida através das camadas que compõem o dossel vegetativo, além de camadas presentes na folha como a cutícula, o parênquima lacunoso e

paliádico (MOREIRA, 2007). Para o sensoriamento remoto, tanto a porção absorvida quanto a porção refletida são importantes, porém devido a limitação tecnológica dos sensores, permitindo apenas a captura da radiação emitida ou refletida pelo alvo, dá-se maior ênfase na porção refletida da radiação solar.

Os fatores que afetam a relação da radiação eletromagnética com o dossel vegetativo são respectivamente: a quantidade de pigmentos fotossintetizantes presentes nas folhas, índice de área foliar, estado nutricional, distribuição angular das folhas, idade da planta, ângulo de visada (posição do sensor) e o ângulo de iluminação (posição do Sol) (PONZONI e SHIMABUKURO, 2007).

3.2 Satélite Landsat 5 sensor TM

Em 1972 o primeiro satélite da série Landsat foi lançado e desde então os cientistas e pesquisadores possuem a capacidade de monitorar as mudanças de ordem natural e/ou antrópica da superfície terrestre de uma forma mais rápida e eficiente.

Um exemplo que ilustra a importância desse evento, principalmente em relação à conservação da biodiversidade ambiental foi à obtenção das primeiras imagens da Floresta Amazônica vista do espaço, que possibilitou a constatação do desmatamento rápido e sistêmico da floresta, contribuindo para o aumento do combate aos crimes ambientais, além de uma maior divulgação e conscientização à respeito da importância da preservação do meio ambiente. Outra grande aplicação das imagens geradas pelo satélite foi o experimento realizado em 1979, cujo objetivo era a estimativa do rendimento total da colheita de trigo na URSS (União das Republicas Socialistas Soviéticas) antes da sua realização. O resultado da pesquisa demonstrou uma precisão de 90 % em relação aos dados oficiais divulgados pela União Soviética meses após a colheita, comprovando a eficácia do uso dessas imagens no monitoramento de cultivos, permitindo estimativas da produção mundial de alimentos, auxílio às políticas governamentais e tomadas de decisões do comércio internacional nos anos subsequentes (NASA, 2012)

A NASA (National Aeronautics and Space Administration) e o Departamento do interior dos EUA através do serviço geológico (USGS), preserva e distribui um banco de imagens contendo mais de três milhões de imagens para usuários em mais de 180 países.

O satélite Landsat 5 Thematic Mapper (TM) lançado em 1º de março de 1984 da base da Força Aérea de Vandenberg, Califórnia (EUA), possui sete bandas espectrais com uma resolução espacial de 30 metros para as bandas de 1 a 5 e 7 (banda 1: 450 a 520 nm), (banda

2: 520 a 600 nm), (banda 3: 630 a 690 nm), (banda 4: 760 a 900 nm), (banda 5: 1550 a 1750 nm) e (banda 7: 2080 a 2350 nm). A resolução espacial da banda 6 (1040 a 1250 nm) é de 120 metros, mas é reamostrada para pixels de 30 metros. A resolução radiométrica é de 8 bits, permitindo a variação dos níveis de cinza em cada pixel da imagem entre 0 a 255. A resolução temporal (tempo de revisita) do satélite é de 16 dias e o tamanho aproximado das cenas é de 170 km ao norte-sul por 183 km leste-oeste (USGS, 2018).

Ao longo desses 34 anos de funcionamento do satélite Landsat 5, vários trabalhos foram realizados, tais como: Paz e Vieira (2018) que monitoraram o uso e a cobertura do solo no município de São Francisco do Sul- SC nos últimos 30 anos através de imagens captadas pelo satélite; Cremon et al. (2018) utilizaram imagens de satélite para a estimativa da carga de sedimentos suspensos no rio Araguaia localizado na região central do Brasil; Bezerra et al. (2008) que quantificaram a ET_r (Evapotranspiração real) de uma área localizada na mesorregião do Cariri, no sul do estado do Ceará, através de imagens TM – Landsat 5, comparando posteriormente com os dados obtidos em campo, verificando-se uma diferença inferior a 10%; Mercante et al. (2009) estudaram as mudanças no comportamento espectral da cultura da soja, por meio de perfis espectrais temporais dos índices de vegetação NDVI e GVI (Green Vegetation Index) expressos em diferentes valores físicos: fator de reflectância bidirecional aparente, de superfície e normalizado derivados de imagens Landsat 5/TM.

Pode-se notar a gama de possibilidades que o uso das imagens produzidas pelo sensor TM do satélite Landsat 5 permite aos usuários.

3.3 Índice de Vegetação pela Diferença Normalizada

Dentre as diversificadas técnicas de processamento de imagens que possibilitam a exploração dos dados de sensores remotos, destaca-se o Índice de Vegetação pela Diferença Normalizada (IVDN) ou NDVI, sigla em inglês para Normilized Diference Vegetation Index, que permite identificar a presença de vegetação verde e caracterizar sua distribuição espacial, como também a evolução no decorrer do tempo (LOBATO et al., 2010). Esse índice foi proposto por Rouse et al. (1974), a partir da normalização do Índice de Vegetação da Razão Simples para o intervalo de -1 a +1. O NDVI consiste na razão entre duas bandas do espectro eletromagnético refletido pelo alvo e detectado pelo sensor, sendo elas: o vermelho (ρ_v) e o infravermelho próximo (ρ_{iv}).

$$NDVI = \frac{\rho_{iv} - \rho_v}{\rho_{iv} + \rho_v}$$

Em que:

NDVI: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada;

ρ_{iv} : é a reflectância do comprimento de onda correspondente ao infravermelho próximo;

ρ_v : é a reflectância do comprimento de onda correspondente ao vermelho.

A utilização da banda do espectro eletromagnético correspondente ao vermelho (630-690 nm), deve-se ao fato da clorofila (pigmento fotossintetizante) presente nos cloroplastos, apresentar um bico de absorção da energia luminosa nesse comprimento de onda (KERBAUY, 2004). O uso do infravermelho próximo (760 – 900 nm) para o cálculo do NDVI é devido a interação que ocorre entre essa banda espectral e as estruturas internas do mesófilo foliar, provocando um fenômeno denominado de espalhamento, acarretando-se numa elevada reflectância pela vegetação. Portanto graças a relação distinta observada entre as duas bandas do espectro eletromagnético com o dossel vegetativo (absorção do Vermelho) e (reflecção do infravermelho próximo), o NDVI configura-se como uma ferramenta simples de monitoramento e identificação da vegetação através de sensores orbitais ou suborbitais.

Valores de NDVI próximos a +1, indica presença de vegetação densa na área que estar sendo monitorada, valores no intervalo de 0,5 a 0,3 indicam solo exposto ou baixa atividade fotossintética, valor 0 é característico da presença de nuvens e valores negativos próximos a -1 deduz-se a existência de corpos d'água sobre a superfície, devido a água apresentar uma maior reflectância no comprimento de onda correspondente ao vermelho do que na banda espectral do infravermelho próximo (MELO et al., 2011).

Na literatura encontra-se inúmeros trabalhos utilizando o NDVI para as mais diversas finalidades, por exemplo: Santos et al. (2018) objetivaram compreender as interferências das queimadas na resposta biofísica da vegetação do cerrado a partir da comparação entre os dados dos produtos MYD14 e MODIS14 estimados pelo sensor MODIS com os dados do produto do índice de vegetação MOD13A3 NDVI; Esquerdo et al. (2009) avaliaram a correlação existente entre os perfil multi-temporais de NDVI extraídos de municípios produtores de soja com dados de produtividade oficial, visando alimentar os modelos agrometeorológicos de estimativa da produtividade através da utilização dessa variável espectral; Gillespie et al. (2018), utilizaram

o sensor MODIS e o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) para o monitoramento de áreas protegidas localizada na costa sul da Califórnia (EUA) no intervalo de tempo compreendido entre 2000 a 2016, cujo resultados demonstram a viabilidade da utilização dessa metodologia para a fiscalização de áreas sobre proteção ambiental; Lins et al. (2017) no município de Arcoverde-PE, verificou-se uma correlação positiva entre o índice de área foliar (IAF) e o Índice de Vegetação pela diferença normalizada (NDVI), indicando a relação existente entre esse parâmetro biofísico com a reflectância da vegetação; Filho et al. (2018) realizaram o monitoramento da cultura de seringueira (*Hevea brasiliensis*) através do índice de vegetação (NDVI), constatando que em um período de quatro anos ocorrem uma redução dos valores de NDVI da cultura, resultado esperado devido a essa espécie apresentar um período de deciduidade das folhas; Motomiya et al. (2014), avaliaram a resposta do índice de vegetação pela diferença normalizada (NDVI) à variação de doses de nitrogênio e regulador de crescimento e sua relação com os teores foliares de N e de clorofila na cultura do algodoeiro, demonstrando a possibilidade no uso dos valores de NDVI para o diagnóstico de deficiência nutricional relativa a este nutriente na cultura. De acordo com os trabalhos citados anteriormente, percebe-se a grande aplicabilidade que o uso desse índice espectral da vegetação permite aos pesquisadores.

3.4 Coeficiente basal de cultivo derivado dos valores de NDVI

O coeficiente basal de cultivo (K_{cb}) é um dos componentes que constitui o coeficiente de cultivo (K_c), representando a perda de água no estado de vapor (transpiração) presente na planta para a atmosfera. Calcula-se que cerca de 90% do processo de transpiração realizada pelas plantas ocorre nas folhas, principalmente através da abertura dos estômatos. Atribui-se a esse processo fisiológico o resfriamento das folhas, o aumento da velocidade do movimento da seiva no xilema, elevação da absorção e translocação de nutrientes na planta (KERBAURY, 2004).

A possibilidade da determinação do K_{cb} à partir da utilização do índice de vegetação NDVI, deve-se ao fato da fotossíntese e a transpiração ocorrerem na mesma região na planta, ou seja, nas folhas. A fotossíntese caracteriza-se pela conversão da energia luminosa em energia química, através da interceptação da radiação solar no comprimento de onda do visível pelos pigmentos fotossintetizantes (clorofila a, clorofila b e carotenos), sequestro do CO_2 atmosférico

através da abertura estomacal, induzindo a ocorrência da transpiração e da água absorvida pelas plantas através do sistema radicular. O processo da fotossíntese pode ser descrito à partir da seguinte equação (KERBAURY, 2017).



Quando o dióxido de carbono e a água são combinados (consumo de água), a molécula de açúcar $\text{[CH}_2\text{O]}n$ é formada no cloroplasto e o gás oxigênio (O_2) é liberado como subproduto para a atmosfera (BARIANI, 2016). A relação existente entre a interceptação da luz e o consumo de água no início do processo fotossintético, permitiu aos pesquisadores derivar os coeficientes basais de cultivo à partir do grau de cobertura do solo, como pode ser observado nos trabalhos de Sawant et al. (2016), que determinaram o K_c através de valores do NDVI, objetivando ajustar os valores do coeficiente de cultura com base nas fases de crescimento da cultura e fornecer uma metodologia para estimativa das variações da evapotranspiração a nível de campo, de culturas de ciclo longo; Campos et al. (2010), que estimaram a evapotranspiração da uva com base em um coeficiente de cultivo derivado do NDVI obtido a partir de imagens de satélite; Johnson e Troun (2012), que utilizaram o coeficiente basal de cultivo para o cálculo da ET_{cb} (evapotranspiração basal da cultura) de quatro espécies vegetais (alho, pimentão, brócolis e alface), cultivadas no Vale de São Francisco na Califórnia (EUA).

3.5 A cultura do meloeiro

O melão (*Cucumis melo* L), pertence à família Cucurbitaceae, diploide, apresenta porte herbáceo, ciclo de cultivo anual, crescimento rasteiro com inúmeras ramificações, geralmente são plantas andromonóicas, ou seja, possuem flores masculinas e hermafroditas na mesma planta, porém pode-se observar indivíduos monoicos ou ginóicos (NASCIMENTO, 2018).

O meloeiro é uma espécie cultivada em várias regiões pelo mundo, sendo os maiores países produtores em ordem decrescente, respectivamente, a China (16.009.584 toneladas/ano), Turquia (1.854.356 toneladas/ano), Iran (1.615.642 toneladas/ano), Egito (1.060.619 toneladas/ano), Índia (1.028.650 toneladas/ano), Cazaquistão (898.004 toneladas/ano), Estados Unidos (783.950 toneladas/ano), Espanha (661.897 toneladas/ano), Itália (632.322 toneladas/ano) e a Guatemala (623.726 toneladas/ano). O Brasil no ano de 2016 ocupava a 11ª posição no ranking, com uma produção estimada em 596.430 toneladas/ano (FAO, 2016). A região Nordeste possui a maior área plantada, estimada em 20.505 ha (cerca de 88,5 % do total

da área destinada para o cultivo do melão no país) e também é o maior produtor (570.838 toneladas), sendo responsável por 95,7% da quantidade produzida, destacando-se o estado do Rio Grande do Norte, principalmente o município de Mossoró (IBGE, 2016).

As condições edafoclimáticas ideais para o cultivo do meloeiro, visando obter características desejáveis como elevado teor de açúcar ($^{\circ}$ Brix), sabor agradável, mais aroma e maior consistência, principalmente voltada para a comercialização no mercado internacional são: temperaturas no intervalo entre 25°C e 35°C, exposição solar na faixa entre 2 mil a 3 mil horas por ano, umidade do ar compreendida entre os valores de 65 % a 75 %, implantação da cultura em solos férteis, profundos, de textura média (franco-arenoso ou arenoso-argiloso), boa porosidade, bem drenados, pH entre 6,0 e 6,5 e baixos níveis de salinidade tanto no solo quanto na água utilizada para a irrigação (EMBRAPA, 2017, p. 24-43).

A expansão da produção do meloeiro observada nos últimos anos na região do Agropolo Mossoró/Assu, localizada na chapada do Apodí deve-se as condições edafoclimáticas favoráveis encontradas na região (solo, temperatura, umidade relativa do ar, etc.), além da disponibilidade de água superficial e subterrânea, de maneira que o meloeiro pode ter suas demandas hídricas e nutricionais supridas através da fertirrigação (GURGEL et al., 2010).

O correto planejamento da irrigação visa o suprimento de água as plantas, no momento adequado e na quantidade exigida pela cultura, sendo decisivo para que sejam obtidos frutos com qualidade suficiente para atender aos diversos mercados (EMBRAPA, 2017, p. 65).

O método de irrigação localizada (gotejamento), combinado com a fertirrigação e o uso do mulching de plástico, promove a melhoria da eficiência do uso da água e dos fertilizantes, reduzindo as perdas dos nutrientes por lixiviação devido a irrigação limita-se ao volume de solo em que o sistema radicular da cultura está localizado. A demanda hídrica do meloeiro, do plantio a colheita varia de 300 a 500 mm, dependendo das condições climáticas e da cultivar. O ciclo da cultura para fins de irrigação pode ser dividido em quatro estádios distintos: inicial, vegetativo, frutificação e maturação. A duração de cada estágio depende principalmente das condições climáticas, do solo e cultivar (EMBRAPA, 2017, p.58).

A cobertura do solo (mulching) consiste em cobrir os canteiros com um filme de plástico, podendo ser de cor preta, marrom, amarela, prata ou branca na face superior e preta na face inferior, denominado de tratamento antiultravioleta. Os objetivos dessa prática adotada no manejo da cultura do meloeiro são: reduzir a oscilação da temperatura do solo, evaporação de água do solo e a perda de corretivos e adubos por lixiviação, minimizando a compactação,

erosão, o contato direto dos frutos com o solo, evitando injúrias e melhorando a sua aparência visual (BRAGA et al., 2010).

A manta agrotêxtil, também conhecida como TNT (tecido não tecido) é utilizada para a cobertura das plantas no início do ciclo de cultivo, cujo objetivos são a proteção ao ataque de insetos, principalmente o da mosca branca (*Bemisia tabaci*), pelo fato desse inseto ser o principal transmissor de viroses para a cultura do meloeiro, além do estímulo inicial provocado pela redução da incidência da radiação solar na planta (SANTOS, 2012). O agrotêxtil é empregado no período que vai do plantio até o início da floração do melão, podendo reduzir a transpiração da cultura por aumentar a resistência ao fluxo de vapor da planta para a atmosfera, o que no final poderá implicar na redução da evapotranspiração da cultura (MEDEIROS et al., 2007).

4. Material e Métodos

4.1 Localização e Caracterização da Área de Estudo

A área de estudo está localizada em uma propriedade agrícola no município de Mossoró – RN ($4^{\circ}59'52''$ S, $37^{\circ}23'09''$ W, 54 m de altitude). A classificação climática local segundo Köppen é BSw_h, com clima muito seco e quente, com precipitações no verão, atrasado para o outono (Borges, 2011), com médias anuais de temperatura e umidade relativa de $27,2^{\circ}\text{C}$ e 69%, respectivamente. A precipitação anual média é de 766 mm (BORGES et al., 2015).

O experimento de campo foi conduzido em área de 5 ha cultivada com melão da variedade ‘Sancho’ (Figura 1) e irrigada por sistema de gotejamento, para determinar a evapotranspiração segundo o método Balanço de Energia pela Razão de Bower – BERB (Bower, 1926), que foi usado para validar o método pelo NDVI. O meloeiro foi cultivado no centro de leiras de 0,6 m de largura, cobertas com filme de polietileno cinza. O espaçamento entre plantas era de 0,5 m e entre leiras 1,4 m.



Figura 1: Localização da área experimental sobre cultivo do meloeiro no município de Mossoró – RN. Data da imagem: 15/02/2017.

4.2 Imagens de Satélite

Foram utilizadas imagens geradas pelo satélite Landsat 5 sensor TM (Thematic Mapper), adquiridas gratuitamente junto ao United States Geological Survey (USGS). A cena

que delimita a área de estudo é da órbita 216 e ponto 63 e foram adquiridas gratuitamente do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Para obter o NDVI e modelar o Kc_b das áreas produtoras de melão, foram aplicadas três imagens TM – Landsat 5, livres de nuvens sobre a área de estudo, contendo o número de 40 pixels em cada imagem, nas respectivas datas: 01/09/2009, 17/09/2009 e 03/10/2009. Essas datas referem-se aos estádios 1, 2 e 3 da cultura, conforme é demonstrado na tabela 1.

Tabela 1. Duração dos estádios fenológicos da cultura do melão e data dos eventos que marcam cada estágio (Mossoró, RN). DAS: dias após semeadura (BORGES et al., 2015).

Estádio fenológico	Eventos	Datas	DAS
1- Inicial	Plantio	12/08	0
2- Desenvolvimento	10% de cobertura do solo	04/09	23
3- Médio	80% de cobertura do solo	23/09	42
4- Final	Início de maturação dos frutos	11/10	58
	Colheita	19/10	68
Total do ciclo (dias)			68

4.3. Determinação do NDVI e do coeficiente basal de cultivo.

A conversão do arquivo da imagem de números digitais (ND) para reflectância no topo da atmosfera é realizada a partir das equações 1 e 2.

Primeiramente, os dados da imagem, que são Números Digitais – ND, foram convertidos em radiância espectral monocromática (L_λ), obtida pela seguinte expressão (Clander et al., 2007):

$$L_\lambda = a_\lambda + \left(\frac{b_\lambda - a_\lambda}{255} \right) ND \quad (1)$$

Em que L_λ é a radiância espectral monocromática ($W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$), a_λ e b_λ são coeficientes de calibração espectral do sensor (Chander et al., 2007) e o subscrito “ λ ” refere-se a cada banda espectral.

A etapa seguinte compreendeu o cômputo da reflectância de cada banda espectral – ρ_λ , de acordo com a seguinte equação (Allen et al., 2002):

$$\rho_\lambda = \frac{\pi L_\lambda}{K_\lambda \cos \theta d_r} \quad (2)$$

Em que L_λ é a radiância espectral, k_λ é a irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera, $\cos \theta$ é o cosseno do ângulo de incidência dos raios solares com a normal à superfície (ângulo zenital) e d_r é o inverso do quadrado da distância relativa Terra-Sol.

Após a calibração radiométrica e obtenção da reflectância, o NDVI foi determinado em cada cena segundo a equação 3.

$$NDVI = \frac{\rho_{IV} - \rho_V}{\rho_{IV} + \rho_V} \quad (3)$$

Em que ρ_{IV} é a reflectância da vegetação no infravermelho próximo e o ρ_V é a reflectância da vegetação no comprimento de onda correspondente ao vermelho.

Os coeficientes basais de cultivo (Kc_b) serão obtidos a partir das equações listadas na Tabela 2.

Tabela 2. Equações para a determinação do coeficiente basal de cultivo (Kc_b), à partir dos valores de NDVI.

Cultura	Equação Kc_b -NDVI	Referência bibliográfica
Algodão	$1,5625 * NDVI - 0,1$	Dercas et al., 2017
Citrus	$1,1875 * NDVI + 0,05$	Sawant et al., 2016
Alface	$-0,11 * NDVI^2 + 1,39 * NDVI + 0,01$	Johnson e Trount, 2012
Trigo	$1,07 [1 - (NDVI_{max} - NDVI / NDVI_{max} - NDVI_{min})^{0,84/0,54}]$	Er- Raki et al., 2007

A transferência de água para a atmosfera na área de estudo deveu-se unicamente à transpiração devido à cobertura plástica do solo, ao sistema de irrigação por gotejamento e ao pequeno volume de chuvas no período. Portanto, o coeficiente de evaporação (K_e) pode ser considerado nulo para as condições desse estudo.

A evapotranspiração do meloeiro, nestas condições, foi dada a partir da seguinte equação, segundo o método da FAO-56 (Allen et al., 1998) (Equação 4).

$$ET_{C_b} = Kc_b \cdot ET_0 \quad (4)$$

Em que ET_{C_b} é a evapotranspiração do meloeiro, devida à transpiração da cultura (mm), ET_0 é a evapotranspiração de referência (mm) e os valores de Kc_b foram determinados a partir das imagens de NDVI.

4.4. Experimento de campo para validação e análise das estimativas

Para obter a evapotranspiração da cultura foi realizado um experimento em campo com o método do Balanço de Energia pela Razão de Bowen (Borges et al., 2015). Para realizar o BERB foi instalada uma torre micrometeorológica com os seguintes sensores: saldo radiômetro (KippZonen, modelo CNR1, Delft, Holanda), instalado a 2,2 m de altura; duas placas de fluxo de calor no solo (Hukseflux HFP01-L, Delft, Holanda), instaladas a 0,02 m de profundidade, uma sob a cobertura plástica na linha de plantio, a outra entre as leiras. Para determinar os

gradientes de temperatura e pressão de vapor d'água, foram tomadas medidas de temperatura de bulbo seco e bulbo úmido de termopares de cobre – constantan em psicrômetros aspirados instalados a 0,3 m (z_1) e 1,8 m (z_2) acima da cultura.

O fluxo de calor latente e evapotranspiração foram determinados pelo BERB segundo as equações 5 e 6:

$$LE = \frac{(R_n - G)}{1 + \beta} \quad (5)$$

em que R_n é o saldo de radiação a superfície, G é o fluxo de calor no solo (ambos em $W\ m^{-2}$), e β é a razão entre calor sensível e calor latente (Razão de Bower), dada pela equação 6.

$$\beta = \gamma \frac{\Delta T}{\Delta e} \quad (6)$$

em que γ é o fator psicrométrico ($kPa\ ^\circ C^{-1}$), ΔT é o gradiente vertical de temperatura ($^\circ C$), e Δe é o gradiente vertical de pressão de vapor d'água (kPa). Esta relação é válida assumindo-se que os coeficientes de difusão turbulenta de vapor d'água e calor são iguais (Peres et al., 1999). Os valores de LE (Wm^{-2}) foram convertidos para ET (mm) – ET_{BERB} – integrando os valores médios dados a cada 30 minutos pelos sensores e dividindo o resultado pelo calor latente de vaporização.

Dados de uma estação meteorológica do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) próxima à área experimental ($5^\circ 4' 54''$ S, $37^\circ 22' 7''$ W, 36 m de altitude) foram utilizados para calcular a ET_0 , em mm a partir da equação FAO Penamn – Monteith (Allen et al., 1998), Equação 7.

$$ET_0 = \frac{0,408 (R_n - G) + \gamma \left(\frac{900}{T + 273} \right) u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)} \quad (7)$$

Em que T média diária da temperatura do ar ($^\circ C$), u_2 é a média diária da velocidade do vento a 2 m de altura ($m\ s^{-1}$), e_s é a pressão de saturação de vapor d'água (kPa), e_a pressão atual de vapor d'água (kPa), Δ é a inclinação da tangente à curva de pressão de vapor ($kPa\ ^\circ C^{-1}$), e γ é o fator psicrométrico ($kPa\ ^\circ C^{-1}$).

Os coeficientes de cultivo utilizados, serão determinados pela razão ET_{BERB} / ET_0 .

5. Resultados e Discussão

5.1 Dados de NDVI obtidos durante o ciclo de cultivo do meloeiro

Na Tabela 3 os valores mínimos, médios e máximos da variável espectral, foram obtidos nos metadados das imagens, observando-se que os menores valores de NDVI foram determinados na fase inicial do desenvolvimento da cultura, resultado esperado primeiramente devido à baixa cobertura do solo (em torno de 10 %), além do manejo implementado no local de cultivo, utilizando-se cobertura plástica nas leiras (mulching) e mantas de polipropileno a partir da emergência das plântulas (19/08/2009), provocando uma reflectância incomum da superfície nessa fase do cultivo (Borges et al., 2015). No período referente aos estádios fenológicos 2 e 3 da cultura (17/09 e 03/10), observa-se um aumento significativo do NDVI, devido ao desenvolvimento da parte aérea da planta (IAF) e consequentemente uma elevação da fração da cobertura do solo (fc), pelo fato desses dois parâmetros biofísicos apresentam uma correlação positiva com o NDVI (Johnson e Trount, 2012; Rocha et al., 2010).

Tabela 3. Valores mínimos, médios e máximos de NDVI obtidos na área experimental através das imagens geradas pelo satélite Landsat 5 TM nas datas correspondentes aos estádios fenológicos do meloeiro.

Data	NDVI _{min}	NDVI _{médio}	NDVI _{max}
01/09/2009	0,08	0,11	0,22
17/09/2009	0,44	0,53	0,58
03/10/2009	0,62	0,69	0,73

A Figura 2 representa a variação do NDVI ao longo do ciclo de cultivo do meloeiro na área experimental (indicada pela seta) e nos cultivos circunvizinhos, obtendo-se dados no intervalo entre 0,09 representada pela cor vermelha (presença da cobertura plástica nas leiras) à 0,70 (máximo desenvolvimento da cultura), apresentando coloração esverdeada.

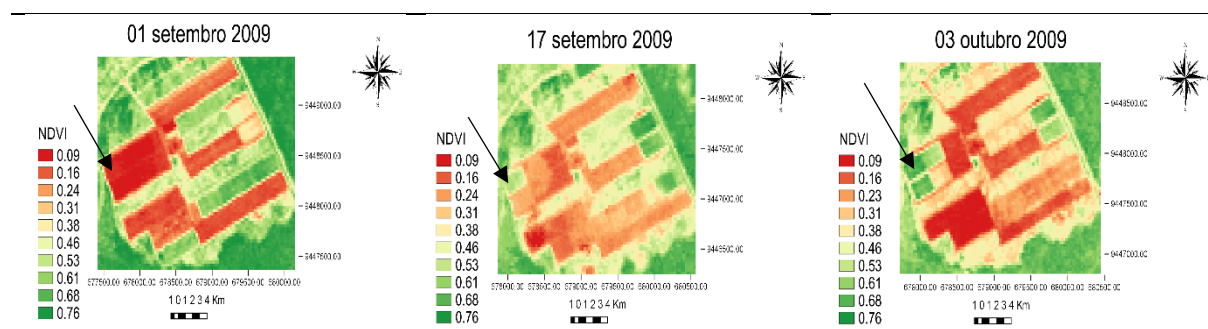


Figura 2. Mapas de NDVI da área experimental localizada no município de Mossoró -RN indicada pela seta, correspondentes as datas 01/09/2009, 17/09/2009 e 03/10/2009.

5.2 Avaliação da eficiência dos modelos Kc_p -NDVI na determinação dos coeficientes basais de cultivo em cada estágio fenológico.

Nas figuras 3,4 e 5 estão os mapeamentos dos coeficientes basais de cultivo (K_{cb}) pelos modelos K_{cb} – NDVI avaliados. A evolução do K_{cb} em todas as áreas acompanhou a mudança do NDVI, portanto, ambos os mapas possuem o mesmo padrão para as datas.

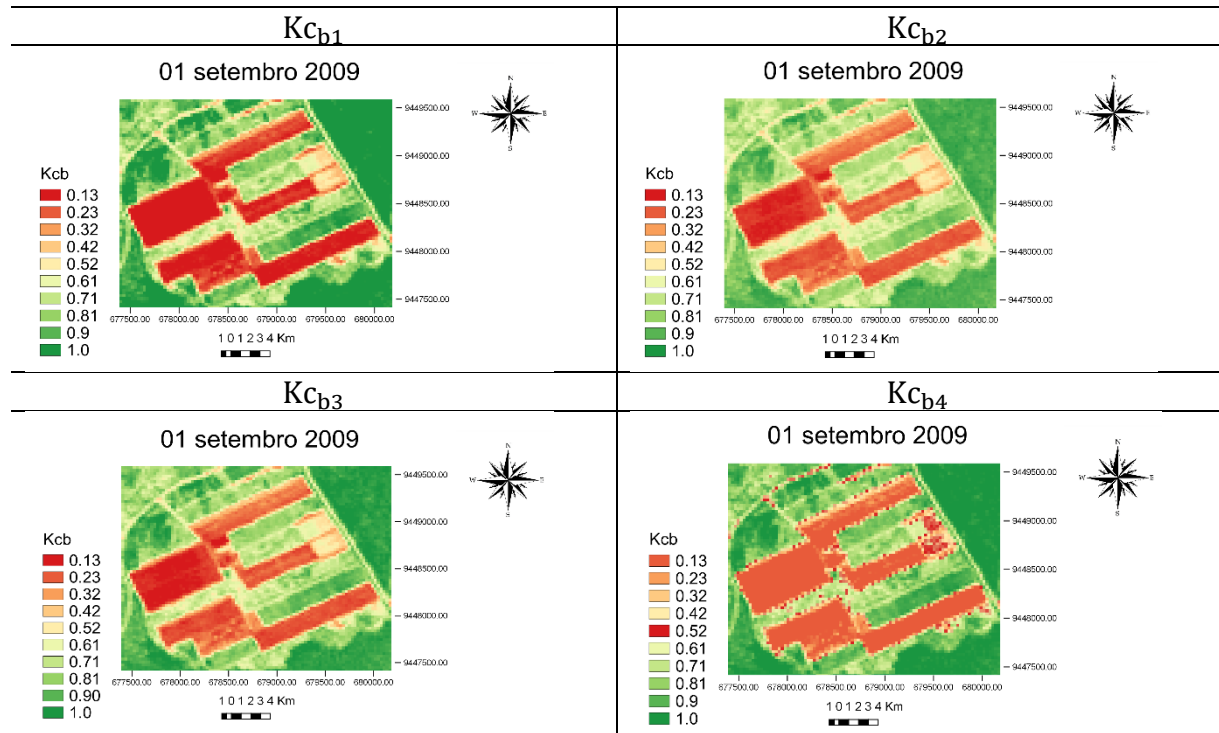


Figura 3. Mapas de K_{cb} obtidos através dos modelos K_{cb} -NDVI, na respectiva data: 01/09.2009. K_{cb1} : Dercas et al. (2017); K_{cb2} : Swant et al. (2016); K_{cb3} : Johnson e Trount (2012) ; K_{cb4} : Er Raki et al. (2007).

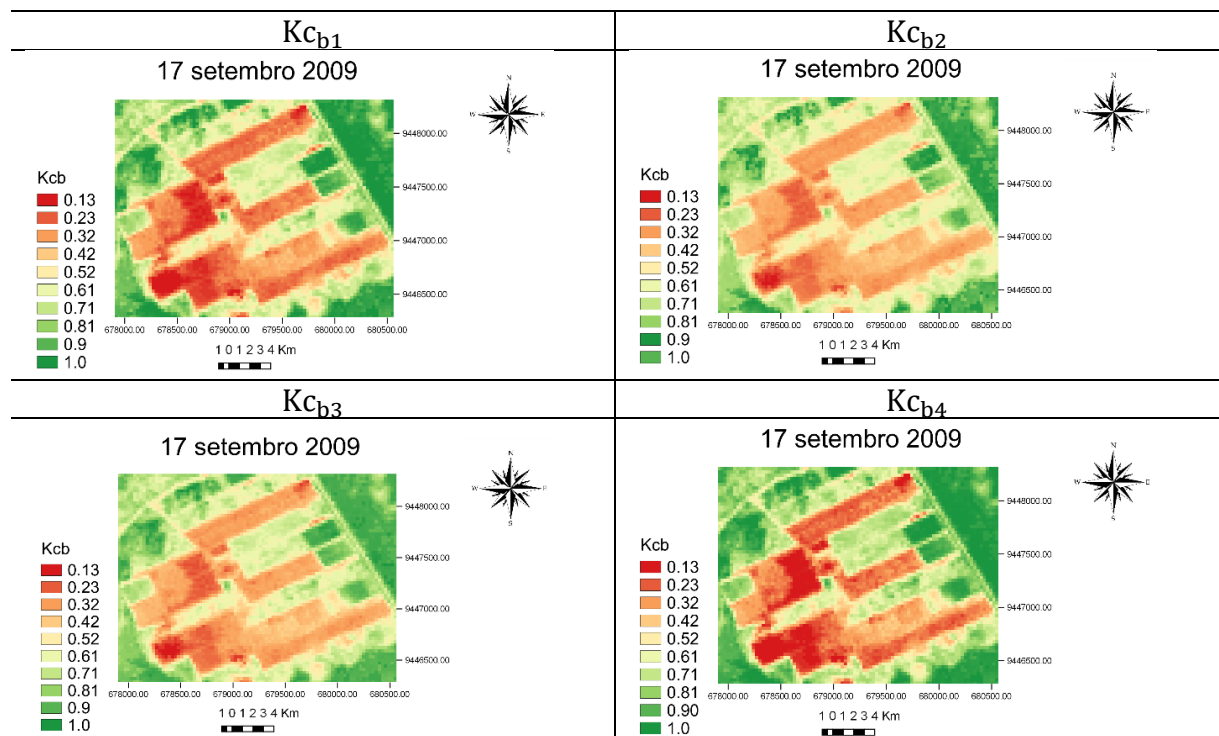


Figura 4. Mapas de Kc_b obtidos através dos modelos Kc_b -NDVI, na respectiva data: 17/09.2009. Kc_{b1} : Dercas et al. (2017); Kc_{b2} : Swant et al. (2016); Kc_{b3} : Johnson e Trout (2012) ; Kc_{b4} : Er Raki et al. (2007).

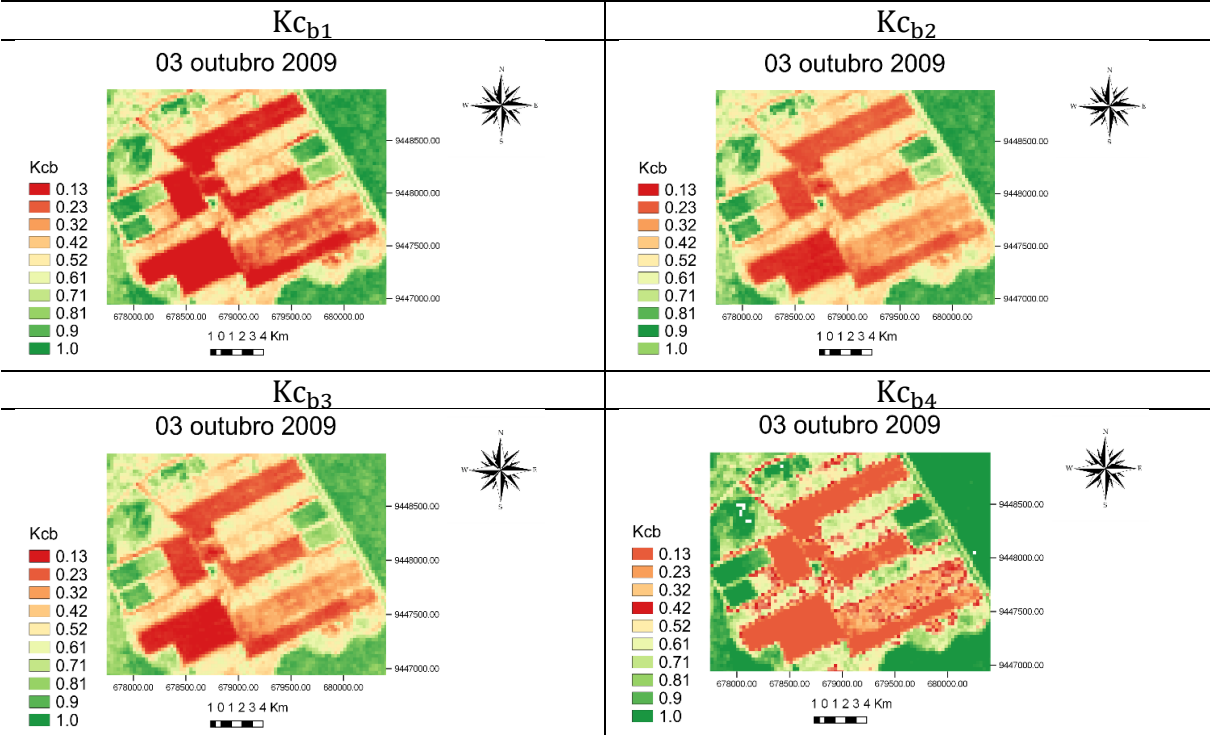


Figura 5. Mapas de Kc_b obtidos através dos modelos Kc_b -NDVI, na respectiva data: 03/10/2009. Kc_{b1} : Dercas et al. (2017); Kc_{b2} : Swant et al. (2016); Kc_{b3} : Johnson e Trout (2012) ; Kc_{b4} : Er Raki et al. (2007).

Os estádios fenológicos 1,2 e 3 da cultura estão representados na Tabela 4 com as respectivas datas das imagens (01/09, 17/09 e 03/10), caracterizando a fase inicial (10 % de cobertura do solo), crescimento vegetativo (entre 10 % a 80 % de cobertura do solo) e o período de maturação dos frutos, respectivamente.

Tabela 4. Valores estimados de Kc_b a partir dos métodos BERB, FAO-56 e dos modelos espectrais Kc_b -NDVI listados na tabela 2 (Borges et al.; 2015).

Data	Kc_{b1}	Kc_{b2}	Kc_{b3}	Kc_{b4}	$Kc_{b\text{ BERB}}$
01/09/2009	0,07	0,18	0,16	0,31	0,20
17/09/2009	0,77	0,71	0,75	0,83	0,75
03/10/2009	0,96	0,85	0,91	0,94	1,01

Kc_{b1} : Dercas et al., 2017; Kc_{b2} : Swant et al., 2016; Kc_{b3} : Johnson e Trout 2012 ; Kc_{b4} : Er Raki et al., 2007; $Kc_{b\text{ BERB}}$: Kc_b obtido pelo método do balanço de energia pela razão de Bowen e $Kc_{b\text{ FAO}}$ (valores tabelados de Kc_b encontrados no manual FAO-56).

No período correspondente ao estágio inicial da cultura (01/09), o modelo que melhor ajustou-se ao método empregado para a validação das equações utilizadas neste trabalho

(método BERB) foi o de Swant et al., (2016), aplicado para estimar a evapotranspiração da cultura de citrus, subestimando o valor de Kc_b em 10 %. O bom desempenho observado pode estar relacionado as características das lavouras de citrus, observando-se parte do solo exposto devido ao espaçamento entrelinhas, apresentando grande influência na estimativa do coeficiente basal de cultivo, semelhantemente ao ocorrido na primeira fase do ciclo do meloeiro, reduzindo o efeito negativo provocando pela manta na determinação do Kc_b nessa fase fenológica da cultura.

O modelo empregado por Er-Raki et al., (2007) para a cultura do trigo superestimou o coeficiente basal de cultivo em 55 %. Esse resultado deve-se a utilização das variáveis $NDVI_{min}$ e $NDVI_{max}$ na equação para a determinação do coeficiente basal de cultivo. Devido a presença da cobertura plástica no solo, o sensor acoplado no satélite recebe a radiação refletida oriunda dessa estrutura ao invés da cultura, acarretando numa grande diferença entre os valores mínimos e máximos de NDVI obtidos na área experimental, afetando fortemente o desempenho desse modelo espectral na estimativa do Kc_b nessa etapa do desenvolvimento do meloeiro. Resultado contrastante encontra-se no trabalho de Drerup et al., (2017), ao estimarem a evapotranspiração do trigo cultivado no noroeste europeu, a partir de dados de NDVI e metodologia da FAO-56, obtendo-se valores de Kc_b próximos a 0 no intervalo de NDVI compreendido entre 0 a 0,4, corroborando na justificativa do efeito atribuído a cobertura plástica na estimativa do coeficiente basal de cultivo. Para a equação utilizada na cultura do algodoeiro (Kc_{b1}), o valor estimado foi 65 % inferior ao determinado pelo método BERB. Uma justificativa que explica esse resultado ruim é a expressiva contribuição do componente evaporativo na determinação da ET da cultura do algodão na fase inicial de cultivo, ocasionada pela baixa cobertura vegetal. Pelo fato do K_e ter sido considerado insignificante nesse trabalho, devido ao manejo aplicado no local de cultivo (mulching), torna-se inviável a utilização desse modelo espectral para a determinação da demanda hídrica do meloeiro na etapa inicial de estabelecimento da cultura.

A equação utilizada por Johnson e Trout, (2012) para a cultura da alface subestimou o Kc_b em 20 % com relação ao método BERB. Esse resultado reflete a grande influência da cobertura plástica na estimativa do coeficiente basal de cultivo através de dados espectrais (NDVI), mesmo em culturas que apresentam características semelhantes ao meloeiro como é o caso a alface, observando-se a formação da roseta de folhas após a etapa de germinação e emergência das plântulas, caracterizada por apresentar folhas alongadas (Neves, 2011) e um

rápido aumento da área foliar, acarretando em uma superfície de perda de água significativa através da transpiração (Lima, 2007).

No segundo estágio fenológico da cultura (17/09), ao contrário do estágio anterior, observa-se um desempenho similar entre os modelos avaliados (Figura 4), destacando-se a equação utilizada para a espécie da alface, com o valor obtido do K_{cb} idêntico ao determinado pelo método BERB. Esse ótimo resultado adquirido pode estar relacionado a algumas características semelhantes entre as espécies da alface e do melão nessa etapa do desenvolvimento no campo como: hábito de crescimento e área foliar. A equação aplicada por Dercas et al., (2017) para a cultura do algodão superestimou o K_{cb} em 2,7 % com relação a metodologia BERB. Esse comportamento pode ser atribuído a estrutura arquitetônica da espécie, apresentando ramificação monopodial, o porte da cultura e filotaxia do tipo alterna (cada gema dará origem a apenas uma folha) na fase fenológica correspondente ao crescimento vegetativo do algodoeiro (Silva et al., 2011). Em trabalho realizado por Bezerra et al., (2010) objetivando-se calcular a evapotranspiração diária e sazonal do algodoeiro utilizando o método do K_c dual adquirido em função do NDVI, obteve-se o K_{cb} de 0,65 na fase de desenvolvimento da cultura, semelhante ao encontrado nesse presente estudo. O modelo K_{cb} -NDVI usado por Er-Raki et al., (2007) superestimou o coeficiente basal de cultivo em 10,7 %. Semelhantemente ao ocorrido na espécie do algodão, a arquitetura da planta, o seu porte, número de folhas e hábito de crescimento do tipo cespitoso ereto, pode ter influenciado numa maior taxa transpiratória em relação ao meloeiro nesse período do ciclo de cultivo. A equação usada na cultura do citrus (K_{cb2}) subestimou o K_{cb} em 5,3 %, devido ao dossel vegetativo característicos das espécies frutíferas não cobrirem totalmente o solo, permitindo que o componente evaporativo esteja atuando durante todo o ciclo da cultura, reduzindo a umidade do solo e consequentemente o processo transpiratório realizado pelo vegetal.

No último estágio fenológico, o K_{cb} determinado pelo método do balanço de energia pela razão de Bowen foi superior a todos os valores obtidos pelas equações utilizadas no estudo (Tabela 4 e Figura 6). É nessa fase que ocorre a frutificação e posterior maturação dos frutos, configurando-se em um período crítico do meloeiro quanto a exigência de água no solo, portanto é a etapa de máxima necessidade hídrica da cultura (EMBRAPA, 2017). O modelo no qual se obteve o melhor desempenho foi o K_{cb1} aplicado ao algodoeiro, subestimando o valor de K_{cb} em 4,9 % em relação ao método utilizado para validação dos modelos espectrais. A equação referente ao K_{cb4} utilizada para o trigo, subestimou o K_{cb} em 6,9 %. O modelo K_{cb} -

NDVI implementado por Johnson e Trount subestimou o coeficiente basal de cultivo em 9,9 % e a equação usada por Swant et al., (2016) subestimou o K_{cb} em 15,8 %. O desempenho ruim demonstrado pelo modelo aplicado na cultura do citrus, mais uma vez deve-se ao fato do dossel vegetativo dessas espécies não cobrirem totalmente o solo, influenciando diretamente na relação estabelecida neste trabalho entre o coeficiente basal de cultivo e o NDVI.

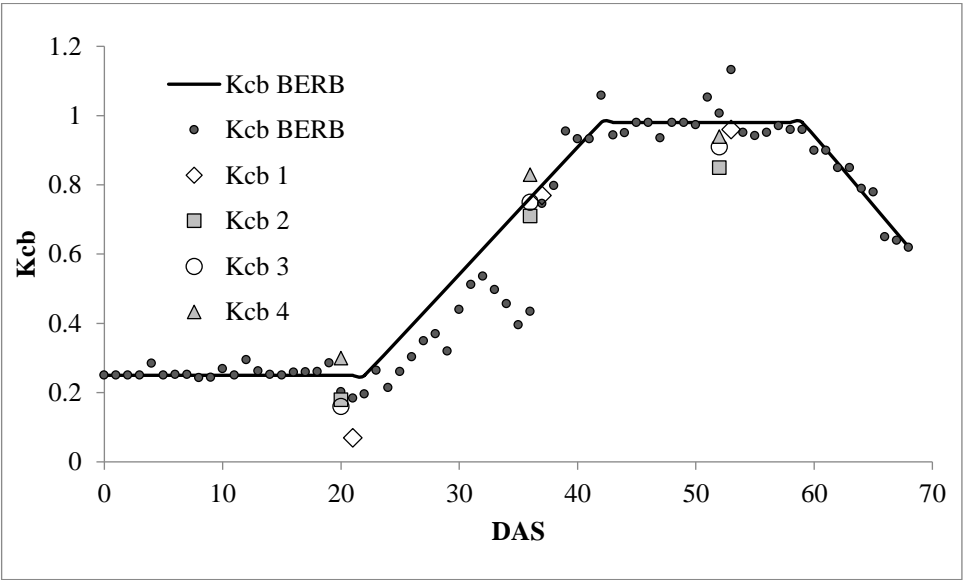


Figura 6. Curva do K_{cb} e evolução dos valores medidos pelo método BERB e estimados pelos modelos. DAS: dias após semeadura; K_{cb1} : Dercas et al., 2017; K_{cb2} : Swant et al., 2016; K_{cb3} : Johnson e Trount 2012 ; K_{cb4} : Er Raki et al., 2007; $K_{cb\text{ BERB}}$: K_{cb} obtido pelo método do balanço de energia pela razão de Bowen.

5.3 Comparação dos valores estimados de ET_{cb} através dos modelos K_{cb} - NDVI e BERB.

Tabela 5. Valores diários de evapotranspiração do meloeiro obtidos através das equações listadas na tabela 2 e pelo método BERB.

ET_{cb} total (mm dia^{-1})					
Modelos espectrais					
Estádios Fenológicos	Método BERB mm dia^{-1}	ET_{cb1} mm dia^{-1}	ET_{cb2} mm dia^{-1}	ET_{cb3} mm dia^{-1}	ET_{cb4} mm dia^{-1}
1	1,6	0,4	1,0	0,9	1,7
2	5,17	6,2	5,7	6,0	6,6
3	6,2	6,0	5,3	5,7	5,9

Observa-se na tabela 5 que ET_{cb4} obteve o melhor resultado em comparação aos outros modelos avaliados, superestimando a ET_c diária em 6,3 %, no primeiro estágio fenológico do meloeiro. As demais equações utilizadas neste trabalho estimaram valores diários de

evapotranspiração inferiores daqueles obtidos pelo método BERB na fase inicial da cultura no campo, apresentando diferenças em termos percentuais, correspondentes a 37,5 % (ET_{cb2}), 43,8 % (ET_{cb3}), 75 % (ET_{cb1}), comprovando mais uma vez a interferência do uso da cobertura plástica na determinação das necessidades hídrica do meloeiro através de dados orbitais. No segundo estágio fenológico da cultura, os valores gerados pelo modelos K_c -NDVI superestimaram a demanda hídrica diária do meloeiro em ordem crescente: ET_{cb2} (10,3 %), ET_{cb3} (16,1 %), ET_{cb1} (19,9 %) e ET_{cb4} (27,7 %). Com relação ao último estágio fenológico da cultura, todas as equações analisadas subestimaram a evapotranspiração diária do meloeiro em 3,2 % (ET_{cb1}), 14,5 % (ET_{cb2}), 8,1 % (ET_{cb3}) e 4,8 % (ET_{cb4}).

Tabela 6. Valores de ET acumulados (mm) durante cada estágio fenológico do meloeiro a partir dos modelos K_c - NDVI e estimada em campo através do balanço de energia pela razão de Bowen (Borges et al.; 2015).

Estádio fenológico	ET_{cb1}	ET_{cb2}	ET_{cb3}	ET_{cb4}	ET_{BERB}
1 (12/08 a 03/09)	8,5	21,9	19,5	37,8	35,2
2 (04/09 a 22/09)	110,8	102,2	107,9	119,5	93,1
3 (23/09 a 10/10)	108,5	96,1	102,9	106,3	112,0
Total	227,8	220,2	230,3	263,6	240,3

De acordo com a tabela 6, observa-se que tanto a ET_{cb} determinada pelos modelos espectrais quanto à medida em campo, o período de menor necessidade hídrica da cultura é o correspondente ao estágio inicial, aumentando o consumo de água ao longo do desenvolvimento da planta, atingindo o ápice de sua demanda hídrica no estágio 2 (modelo K_c - NDVI) e estágio 3 (método BERB) devido a formação e posterior maturação dos frutos. Esse comportamento distinto observado entre as equações empíricas e o método BERB está relacionado com a data de obtenção das imagens de satélite. Nesse trabalho utilizou-se a imagem do dia 17/09/2009 para representar a fase fenológica da cultura, referente ao período de crescimento vegetativo do meloeiro, mas devido a esta etapa do ciclo caracterizar-se pela maior variação no grau de cobertura do solo em relação aos outros estágios fenológicos (1 e 3) e a data corresponder ao final desse período, o modelo espectral não conseguiu detectar essas mudanças observadas no campo devido a resolução temporal do satélite Landsat 5 (16 dias), provocando uma superestimativa nos valores de evapotranspiração basal da cultura. Portanto, o uso de satélites com uma menor resolução temporal permitiria o aumento da precisão do método visando o planejamento da irrigação. Em contrapartida, no período de maturação e frutificação dos frutos do meloeiro, todas as equações espectrais apresentaram valores menores em comparação ao método BERB. Esse comportamento justifica-se pelo fato da imagem utilizada para representar

essa etapa do ciclo da cultura ter sido obtida no início desse período, observando-se o começo do processo de formação dos frutos e aumento da demanda hídrica da cultura, porém não caracterizando o momento de máxima consumo de água pelo vegetal e portanto reduzindo a capacidade dos modelos espectrais estimarem com precisão a ET_{Cb} .

O modelo Kc_b -NDVI que apresentou o melhor desempenho na determinação da evapotranspiração sazonal do meloeiro foi aquele aplicado a cultura da alface (ET_{Cb2}), subestimando em 4,2 %. A equação utilizada por Er-Raki et al., (2007) superestimou a ET_{Cb} em 9,7 % e os modelos espectrais aplicados nas culturas do algodão e citrus subestimaram em 5,2% e 8,4%, respectivamente. Em seu trabalho, Toureiro et al. (2017) obtiveram diferenças de 8,3 %, 3,9 %, 8,9 %, 2,1 % na estimativa da ET_C determinada pelo NDVI com relação as estimativas de campo em quatro áreas experimentais sobre cultivo de milho.

6. CONCLUSÃO

Diante de tudo que foi exposto nesse trabalho, conclui-se que a presença da cobertura plástica no início do desenvolvimento da cultura afetou negativamente os resultados obtidos pelas equações analisadas, pelo fato de nenhum dos modelos testados ter sido considerado satisfatório com relação a estimativa da evapotranspiração nessa etapa do ciclo de cultivo.

As imagens do NDVI, permitiu o acompanhamento do desenvolvimento do meloeiro durante todo o ciclo de cultivo, porém no intervalo de tempo em que observa-se a presença da manta de polipropileno, a sua eficiência foi reduzida.

Os modelos espectrais Kc_b -NDVI aplicados no estudo, obtiveram um bom desempenho na determinação das necessidades hídricas sazonais do meloeiro, encontrando diferenças inferiores a 10% entre a ET_c determinado a campo (método BERB) e a estimada pelo uso de imagens de satélite, no qual o modelo aplicado para a cultura da alface apresentou uma melhor concordância com os dados de campo, comprovando a eficiência e generalidade do uso de modelos espectrais para a determinação da evapotranspiração basal do meloeiro.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G.; TREZZA, R. & TASUMI M. **Surface energy balance algorithms for land**. Advance training and user's manual, version 1.0, p.98, 2002.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration Guidelines for computing crop water requirements**. FAO Irrigation and Drainage Paper 56, Roma, p. 300, 1998.

ANA – Agência Nacional das Águas. **Água no mundo**. Disponível em: <<http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/panorama-das-aguas/agua-no-mundo>>. Acesso em: 19 de maio de 2018.

ANA – Agência Nacional das Águas. **Estudo da ANA aponta em 45% potencial de expansão da irrigação no Brasil até 2030**. Disponível em: <<http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/noticias/estudo-da-ana-aponta-em-45-potencial-de-expansao-da-irrigacao-no-brasil-ate-2030>>. Acesso em: 18 de maio de 2018.

ANA – Agência Nacional das Águas. **Quantidade de água**. Disponível em: <<http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/aguas-no-brasil/panorama-das-aguas/quantidade-da-agua>>. Acesso em: 18 de maio de 2018.

ANUÁRIO 2017-2018. **Revista Hortifruti Brasil**, Piracicaba (SP), ano 16, 2017. Disponível em: <<http://www.hfbrasil.org.br/br/revista/acessar/completo/anuario-2017-2018.aspx>>. Acesso em: 12 de junho de 2018.

BARIANI, Cassiane Jayj de Melo. Combinação de Modelos de balanço hídrico no solo e sensoriamento remoto para o monitoramento de áreas irrigadas. 2016. 143 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016.

BEZERRA, B. G.; SILVA, B. B.; FERREIRA, N. J. Estimativa da evapotranspiração real diária utilizando-se imagens digitais TM – Landsat 5. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 23, n.3, p. 305-317, 2008.

BORGES, V. P.; SILVA, B. B.; OLIVEIRA, A. S.; SOBRINHO, J. E.; FERREIRA, F. C.; OLIVEIRA, A. D. Evapotranspiração do meloeiro obtida a partir de índice espectral de vegetação. In: III Inovagre International Meeting. **Anais...** Fortaleza: Instituto Nacional de Ciências e Tecnologia Engenharia da Irrigação, 2015.

BORGES, Valéria Peixoto. Necessidades hídricas e produtividade de água da cultura do meloeiro irrigado na região de Mossoró-RN. 2011. 138 p. Tese (Doutorado em Meteorologia agrícola e Micrometeorologia), Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2011.

BRAGA, M. B.; REZENDE, G. M.; MOURA, M. S. B.; DIAS, R. C. S.; COSTA, N. D.; CALGARO, M.; CORREIA, J. S.; SILVA, F. Z. Produtividade e qualidade do melão submetido a diferentes tipos de cobertura do solo. **IRRIGA 15**: p. 422-430, 2010.

CALERA, A.; CAMPOS, I.; OSANN, A.; URSO, G.D.; MENENTI, M. Remote Sensing for crop water management: from experiments to user-driven services. **Preprints**, 2016. <http://doi:10.20944/preprints201611.0095.v1>

CAMPOS, I., NEALE, C. M. U., CALERA, A., BALBONTÍN, C., PIQUERAS, J.G. Assessing satellite – based basal crop coefficients for irrigated grapes (*Vitis vinífera* L.). **Agricultural Water Management**. p. 45-54. 2010.

CAMPOS, I.; NEALE, C. M. U.; SUYKER, A. E.; ARKEBAUER, T. J.; GONÇALVES, I. Z. Reflectance – based crop coefficients REDUX: For operational evapotranspiration estimates in the age of high producing hybrid varieties. **Agricultural Water Management**. p. 140-153. 2017.

CHANDER, G.; MARKHAM, B. L.; BARSÍ, J. A. Revised Landsat-5 Thematic Mapper radiometric calibration. **IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters**, v.4, p.490-494, 2007.

COSTA, Nivaldo Duarte. (Ed). **A cultura do melão**. Brasília: Embrapa semiárido, 2017. p. 24-43 .

CREMON, E. H.; SILVA, A. M. S.; MONTANHER, O. C. Estimativa de sedimentos suspensos por reflectância aparente dos dados TM/Landsat- 5 no rio Araguaia. **ResearchGATE** 2018.

DERCAS N.; SPYROPOULOS, N.V.; DALEZIOS, N.R.; PSOMIADIS, E.; STEFOPOULOU, A.; MANTONANAKIS, G.; TSERLIKAKIS, N. Cotton evapotranspiration using very high spatial resolution WV- 2 Satellite data and ground measurements for precision agriculture. **WIT Transactions on Ecology and The Environment**, vol. 220, p. 101-107, 2017. doi:10.2495/WRM170101.

ESQUERDO, J. C. D. M.; ZULLO JUNIOR, J.; ANTUNES, J. F. G. Uso de perfis multi-temporais de NDVI/AVHRR no acompanhamento da cultura da soja no oeste do Paraná. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14. (SBSR), 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p. 145-150. Disponível em:< <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr%4080/2008/11.12.17.50/doc/145-150.pdf>>. Acesso em: 15 de junho de 2018.

FAO – Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação. **2050: A escassez de água em várias partes do mundo ameaça a segurança alimentar e os meios de subsistência**. Disponível em: < <http://www.fao.org/news/story/pt/item/283456/icode/>>. Acesso em: 18 de maio de 2018.

FAO – Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação. **FAOSAT Crops**. Disponível em:< <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>>. Acesso em: 18 de julho de 2018.

FILHO, J. C. P.; LESSA, L. G. F.; ZIMBACK, C. R. L.; FURTADO, E. L. Dossel de seringueira verificado com índice de vegetação em diferentes condições fenológicas e fitossanitárias. **Acta Iguazu**, Cascavel, v.7, n.2, p. 29-47, 2018.

GILLESPIE, T. W.; KELM, S. O.; DONG, CHUNYU.; WILLIS, K. S.; OKIN, J. S.; MACDONALD, G. M. Monitoring changes of NDVI in protected areas of Southern California. **Ecological Indicators** 88, p. 485-494, 2018.

GURGEL, M. T.; UYEDA, C. A.; GHEYI, H. R.; OLIVEIRA, F. H. T.; FERNANDES, P. D.; SILVA, F. V. Crescimento de meloeiro sob estresse salino e doses de potássio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.3-10, 2010.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas. **Produção Agrícola Municipal 2016**. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/66/pam_2016_v43_br.pdf>. Acesso em: 09 de junho de 2018.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Agrícola Municipal – PAM 2016 (tabela 1 lavouras temporárias)**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/economicas/agricultura-e-pecuaria/9117-producao-agricola-municipal-culturas-temporarias-e-permanentes.html?=&t=resultados>>. Acesso em: 17 de julho de 2018.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em Recursos Terrestres**. Tradução de J. C. N. Espinhanio. São Jose dos Campos, SP: Parênteses, 2011. (Prentice Hall Series in Geographic Information Science). Tradução de: Remote Sensing of the enviromental: a perspective on terrestrial resources.

JOHNSON, L. F.; TROUNT, T. J. Satellite NDVI assisted monitoring of vegetable crops evapotranspiration in California's San Joaquin Vallery. **Remote Sens.** 4, p. 439 - 455. 2012.

KERBAURY, G. B. **Fisiologia vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004. p. 125-128.

KERBAURY, G. B. **Fisiologia vegetal**, 2ed. Rio de janeiro: Guanabara Koogan, 2017. p. 82-89.

LIMA, B.L.C.; NASCIMENTO, I.B.; MEDEIROS, J.F.; ALVES, S.S.V.; DOMBROSKI, J.L.D. Condutância estomática e área foliar do meloeiro cultivado em diferentes tipos de solo e submetido ao estresse salino. **Revista Verde (Mossoró-RN-Brasil)** v.6, n.2, p.01-06. abril/junho 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.18378/rvads.v6i2.598>

LINS, F.A.C.; ARAÚJO, D.C.S.; SILVA, J.L.B.; LOPES, P.M.O.; OLIVEIRA, J.D.A.; SILVA, A.T.C.S.G. Estimativa de parâmetros biofísicos e evapotranspiração real no semiárido pernambucano utilizando sensoriamento remoto. **Irriga, Botucatu, Edição Especial, IRRIGA & INOVAGRI**, p. 64-75, 2017.

LOBATO, R.; MENEZES, J.; LIMA, L. A.; SAPIENZA, J. A. Índice de vegetação por diferença normalizada para análise da redução da mata Atlântica na região costeira do distrito de tamoios – CABO FRIO/RJ. **Caderno de Estudos Geoambientais**, v. 01, n. 01, p.14–22, 2010. Disponível em: <<http://www.cadegeo.uff.br/index.php/cadegeo/article/view/2/2>>. Acesso em: 02 de junho de 2018.

MANABE, Víctor Danilo. Métodos para identificação de diferentes manejos de pastagens através de dados de sensoriamento remoto. 2018. 105 p. Tese (Engenharia Agrícola), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2018.

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Gestão Integrada e Sustentável dos Recursos Hídricos no Meio Rural 20**. Pdf. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/camaras-setoriais/tematicas/documentos/camaras-tematicas/agricultura-sustentavel-e-irrigacao/ano/gestao-integrada-e-sustentavel-dos-recursos-hidricos-no-meio-rural20.pdf/view>>. Acesso em: 19 de maio de 2018.

MDIC – Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços. **Comex Vis: Principais Produtos Exportados**. Disponível em: < <http://www.mdic.gov.br/comercio-exterior/estatisticas-de-comercio-exterior/comex-vis/frame-ppe?ppe=1235>>. Acesso em: 14 de junho de 2018.

MDIC – Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços. **Balança comercial: Janeiro-dezembro 2017**. Disponível em: < <http://www.mdic.gov.br/index.php/comercio-exterior/estatisticas-de-comercio-exterior/balanca-comercial-brasileira-acumulado-do-ano?layout=edit&id=3056>>. Acesso em: 15 de junho de 2018.

MEDEIROS, J. F.; SANTOS, S. C. L.; CÂMARA, M. J. T.; NEGREIROS, M. Z. Produção de melão Cantaloupe influenciado por coberturas do solo, agrotêxtil e lâminas de irrigação. **Horticultura Brasileira**, v.25, n.4, p. 538-543, 2007.

MELO, E.T.; SALES, M.C.L.; OLIVEIRA, J.G.B.de. Aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para análise da degradação ambiental da microbacia hidrográfica do Riacho dos Cavalos, Crateús-CE. **RA´E GA**, Curitiba, Departamento de Geografia – UFPR, vol. 23, p. 520-533, 2011.

MERCANTE, ERIVELTO.; LAMPARELLI, R.A.C.; OPAZO, M.A.U.; ROCHA, J.V. Características espectrais da soja ao longo do ciclo vegetativo com imagens Landsat 5/TM em área agrícola no oeste do paraná. **Eng. Agri.**, Jaboticabal, v. 29, n.2, p.328-338, abr/jun. 2009.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. Viçosa, MG: UFV, 2007. 3ed.

MOTOMIYA, A.V.A.; VALENTE, I.M.Q.; MOLIN, J.P.; MOTOMIYA, W.R.; BISCARO, G.A.; JORDAN, R.A.  ndice de vegetação do algodoeiro sob diferentes doses de nitrogênio e regulador de crescimento. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, n. 1, p. 169-178, jan/fev. 2014.

MUTTI, P. P. **Estimativa da evapotranspiração sobre a bacia hidrográfica do rio piranhas - a u utilizando dados de sensoriamento remoto**. 2018. 118 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Climáticas), Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.

NASA – National Aeronautics and Space Administration. **Landsat looks and sees**. Disponível em: <https://www.nasa.gov/mission_pages/landsat/news/landsat-history.html>. Acesso em: 29 de maio de 2018.

NASCIMENTO, Camila Seno. Relação N:K para os estádios fenológicos do meloeiro cultivado em hidroponia. 2018. 39 p. Dissertação (Mestre em Agronomia – Produção vegetal), Campus de Jaboticabal, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Jaboticabal, 2018.

NEVES, Bruno Miguel Pedroso. **Influência do Molibd nio na acumulação de nitratos nas folhas de alface (*Lactuca sativa* L.)**. 2011. 71p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agron mica), Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2011.

PAZ, J.P.S.; VIEIRA, C.V. **Evolução do uso e cobertura do solo no município de São Francisco do Sul – Estado de Santa Catarina**. Boletim Paranaense de Geociências. v 74, 2018. p. 28-36.

- PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação**: 1. ed. São Paulo: Editora Parêntese, 2007.
- RAKI, E. S.; CHEHBOUNI, A.; GUEMOURIA, N.; DUCHEMIN, B.; EZZAHAR, J.; HADRIA, R. Combining FAO-56 model and ground-based remote sensing to estimate water consumptions of wheat crops in a semi-arid region. **Agricultural water management** **87**, p. 41-54, 2007.
- ROCHA, J.; PERGIÇÃO, A.; MELO, R.; HENRIQUES, C. **Managing Water in Agriculture through Remote Sensing Applications**. Rainer Reuter (Editor) Farsel 2010.
- ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHEEL, J.A.; DEERING, D.W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: **EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE – 1 SYMPOSIUM**, 1994, Washington. Proceedings Washington: [s.n], 1994, v.1, sec A, p. 309 – 317.
- SALES, D. L. A.; JÚNIOR, J. A.; CASAROLI, D.; EVANGELISTA, A. W. P.; SOUZA, J. M. F. Estimativa da evapotranspiração e coeficiente de cultura do tomateiro industrial utilizando o algoritmo SAFER. **Irriga, Botucatu**, v.22, n.3, p. 629-640, julho-setembro, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2017v22n3p529-640>.
- SANTOS, Francisco Gauberto Barros dos. **Análise do crescimento, produção e qualidade de melão cantaloupe em cultivo protegido temporariamente com agrotêxtil em Mossoró-RN**. 2012. 137f. Tese (Doutorado em Agronomia: Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró-RN, 2012.
- SAWANT, S. A.; CHAKRABORTY, M.; SURADHANIWAR, S.; ADINARAYANA, J.; DURBHA, S.S. Time series analysis of remote sensing observations for citrus crop growth stage and evapotranspiration estimation. In: **XXIII International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, Praga- República Tcheca, volume XLI-B8, 2016.
- SILVA, I.P.F.; JUNIOR, J.F.S.; ARALDI, R.; TANAKA, A.A.; GIROTTO, M.; BOSQUÊ, G.G.; LIMA, F.C.C. **Estudo das fases fenológicas do algodão (*Gossypium hirsutum* L.)**. Revista científica eletrônica de agronomia – ISSN: 1677-0293, dezembro, 2011.
- TEIXEIRA, M. B.; CAMARGO, P. L. T.; JUNIOR, P .P. M. Uso das Imagens de Sensores Remotos para Análise Crítica da Degradação do Cerrado no Alto Médio São Francisco – Minas Gerais. **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**, v 41-1, p. 245-254, 2018.
- TOUREIRO, C.; SERRALHEIRO, R.; SHAKIB, S.; SOUZA, A. Irrigation management with remote sensing: Evaluating irrigation requirement for maize under Mediterranean climate condition. **Agricultural Water Management**. p. 211– 220, 2017.
- USGS – United States Geological Survey. **What are the band designations for the Landsat satellites?**. Disponível em:<https://www.usgs.gov/faqs/what-are-band-designations-landsat-satellites-0?qt-news_science_products=7#qtnews_science_products>. Acesso em: 29 de maio de 2018.

